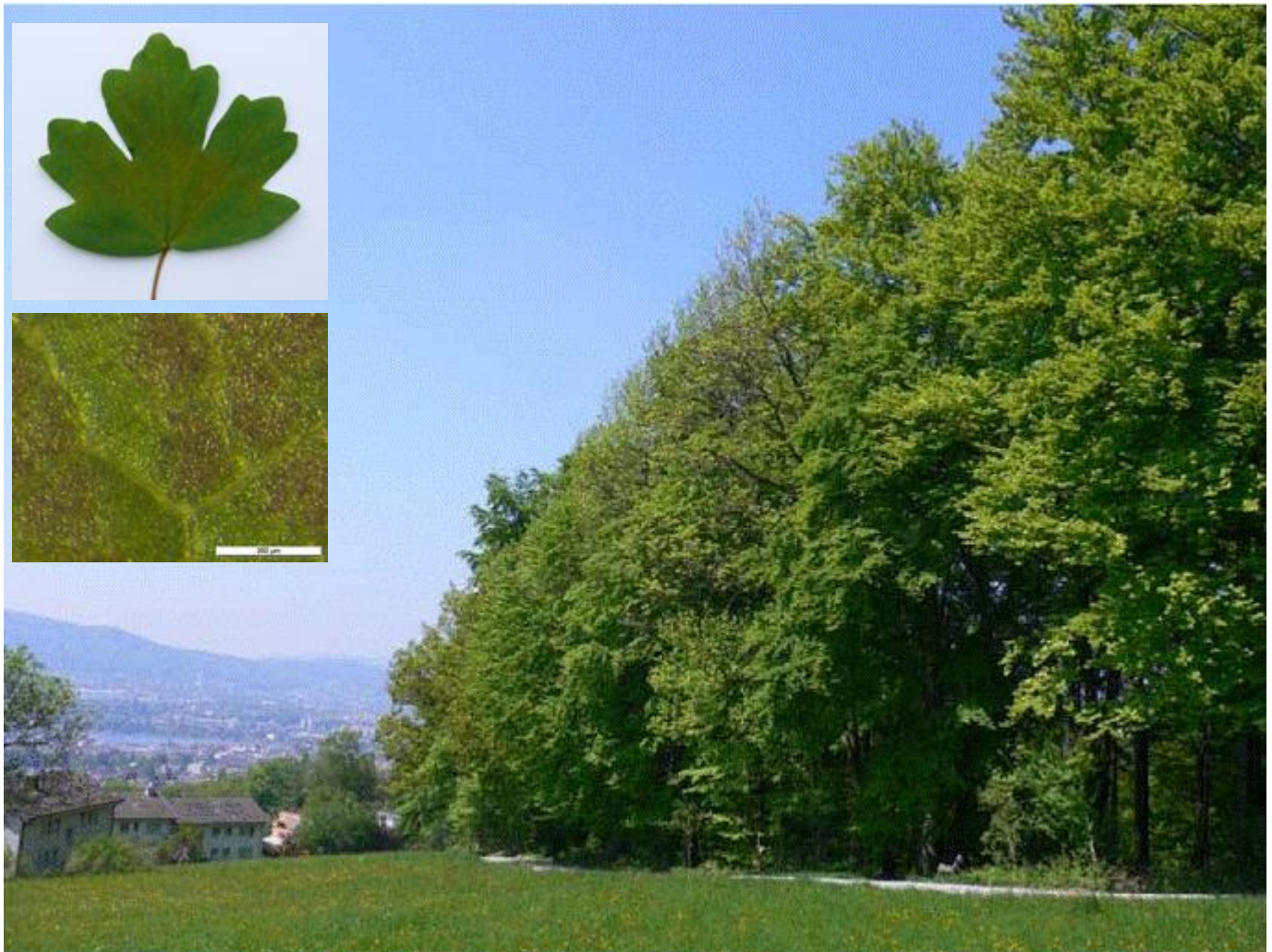


Ozonsymptome an Laubbäumen an ausgewählten Standorten in der Ostschweiz 2008 / 2009 / 2011



Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung.....	1
1.1	Untersuchungshintergrund.....	1
1.2	Ozon schädigt Pflanzen.....	1
2.	Einführung.....	2
2.1	Aufgabenstellung.....	2
2.2	Allgemeines zum Thema Ozon.....	2
2.3	Ozonsymptome an Blättern.....	2
2.4	Europaweite Untersuchungen.....	3
3.	Methoden.....	4
3.1	Beobachtungsstandorte.....	4
3.2	Beurteilung der Ozonschäden.....	4
3.3	Messung der Ozonkonzentrationen.....	4
4.	Resultate.....	5
4.1	Häufigkeit der Ozonschäden an Blättern.....	5
4.2	Auftreten von Ozonschäden nach Baum- und Strauchart.....	6
4.3	Ozonmessungen.....	11
4.4	Vergleich zwischen Ozonmessungen und beobachteten Schäden.....	12
5.	Diskussion.....	14
6.	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	15
7.	Literatur zum Thema.....	16
8.	Anhang.....	17

Impressum

Ozonsymptome an Laubbäumen an ausgewählten Standorten in der Ostschweiz 2008 / 2009 / 2011

Kurztitel: Ozonsymptome an Laubbäumen

Herausgeber: OSTLUFT, Juni 2010, aktualisiert Februar 2013

Kontaktperson: Jakob Marti, Glarus

durchgeführt von:

Madeleine S. Günthardt-Goerg (International Ozone Validation Centre Central Europe, WSL)

Bezug und weitere Informationen:

Download: www.ostluft.ch

OSTLUFT, Geschäftsleitung

Stampfenbachstrasse 12, Postfach

8090 Zürich

Tel. 043 259 30 18

E-Mail: bestellungen@ostluft.ch

Titelbild: Waldrand in Zürich Stöckenhaldenweg und Ozonschäden auf einem Blatt des Feldahorns

OSTLUFT– die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein

1. Zusammenfassung

1.1 Untersuchungshintergrund

Es ist bekannt, dass hohe Ozonkonzentrationen die menschliche Gesundheit beeinträchtigen. Ausserdem wirkt sich Ozon auf die Vegetation aus. Eine hohe Ozondosis, das heisst hohe Ozonbelastungen während längerer Zeit, können besonders Laubbäume, Sträucher und Kulturpflanzen schädigen und zu Ertrageinbussen führen. In den Sommern 2008, 2009 und 2011 untersuchte OSTLUFT die Wirkung von Ozon auf Laubbäume und Sträucher. Dabei wurden die Ozonschäden an den Blättern ausgewertet. In den Kantonen St.Gallen, Glarus und Zürich sowie im Fürstentum Liechtenstein wurden jeweils mehrere Standorte in unterschiedlichen Höhenlagen ausgewählt. Alle Beobachtungsregionen verfügen über eine OSTLUFT-Ozonmessstation. Allerdings befinden sich diese Stationen nicht in unmittelbarer Nähe zu den Wäldern und Waldrändern, wo die Ozonsymptome an der Vegetation untersucht wurden. Eine quantitative direkte Zuordnung der beobachteten Pflanzenschäden zu den Ozonmesswerten wird dadurch erschwert. Hingegen lassen sich die eindeutig durch Ozon verursachten Schäden qualitativ mit den gemessenen Ozonkonzentrationen in Verbindung bringen.

1.2 Ozon schädigt Pflanzen

Die Ozonschäden wurden anlässlich von Begehungen jeweils anfangs September visuell beurteilt. Die Symptome äussern sich meist durch Verfärbungen oder diffuse Punkte zwischen den Blattnerven. Bei gewissen Pflanzen ist die Unterscheidung zwischen Pilzinfektionen oder natürlicher Blattalterung und Ozonsymptomen schwierig. Ein gutes Erkennungsmerkmal ist der „Schatteneffekt“, das heisst das Fehlen von Ozonsymptomen auf der Blattunterseite und auf Blättern, welche von einem anderen Blatt dicht überdeckt werden. Obschon die Jahre 2008 und 2009 infolge der wechselhaften Witterung im Hochsommer keine lang anhaltenden hohen Ozonbelastungssituationen aufwiesen, waren Schäden an der Vegetation klar erkennbar, wenn auch nur schwach ausgeprägt. Im Jahr 2008 wiesen an den Standorten im Durchschnitt 25% bis 58% aller Bäume Ozonschäden auf, im Jahre 2009 15% bis 36%.

- Die Häufigkeit von Schäden in stadtnahen Gebieten ist grösser als im ländlichen Raum.
- In Städten sind die Schäden in der Innenstadt, in den Aussenquartieren und stadtnahen Zonen gleichermassen hoch.
- Die meisten Schäden wurden 2008 und 2011 auf den höchsten Standorten beobachtet.

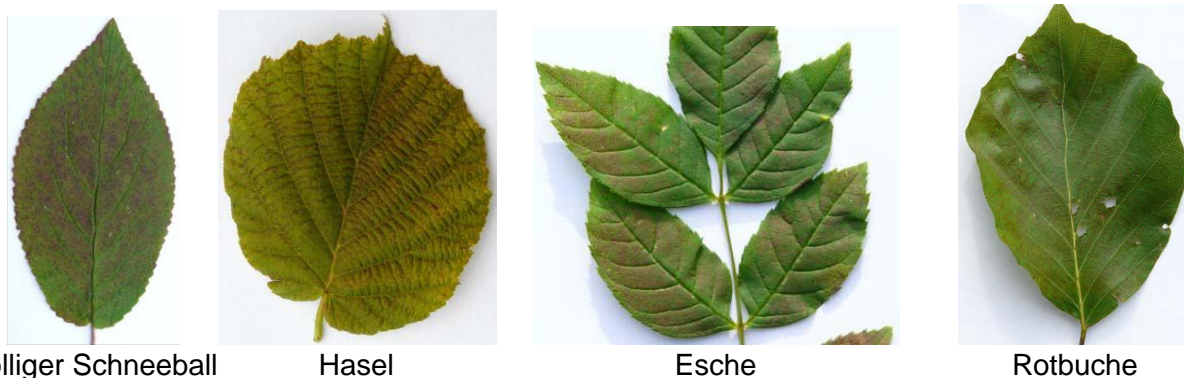


Abb. 1: Schadbilder von Ozon an verschiedenen Laubblättern

2. Einführung

2.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieses Projektes soll untersucht werden, ob an ausgewählten Orten im OSTLUFT-Gebiet Ozonschäden an Laubbäumen auftreten und in welchem Verhältnis diese zu den gemessenen Ozonkonzentrationen stehen.

2.2 Allgemeines zum Thema Ozon

Ozon wird in der Troposphäre (10 km erdnahe Luftschicht) durch eine Reihe photochemischer Umwandlungsprozesse gebildet. Ozon entsteht unter Sonneneinstrahlung aus dem Zusammenwirken von Stickoxiden mit organischen Kohlenwasserstoffen. Die sommerlichen Ozonkonzentrationen übertreffen die in der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vorgeschriebenen Grenzwerte¹ regelmässig und grossflächig. Zwar wurden seit dem Erlass 1986 der Luftreinhalte-Verordnung von Bund und Kantonen schon viele Massnahmen zur Reduktion der Vorläufersubstanzen ergriffen (z. B. VOC-Abgabe, Katalysator für PW usw.), doch die Immissionen von Ozon sind dadurch nicht wesentlich und nachhaltig gesunken. Die Witterung hat einen bedeutenden Einfluss auf die Ozonbildung. Lang andauernde heisse und sonnige Perioden im Sommer, wie beispielsweise 2003, können sehr hohe Ozonkonzentrationen zur Folge haben. In kühleren und feuchten Sommermonaten mit häufigen Wetterwechseln, wie sie 2008 und 2009 auftraten, sind die Ozonkonzentrationen geringer.

2.3 Ozonsymptome an Blättern

Seit längerer Zeit ist bekannt, dass die Blätter von Laubbäumen und die Nadeln von Nadelbäumen durch Ozon beeinträchtigt werden und sichtbare Schäden aufweisen. Die Stärke der Schädigung ist abhängig von der Ozondosis, also von der Höhe der Ozon-Konzentrationen und der Einwirkungsdauer.

Am häufigsten findet man Ozonsymptome an besonnten Ästen und Blättern. Ausser bei sehr starker Schädigung sind die Symptome nur auf der Blattoberseite erkennbar. Bei empfindlichen Blättern treten diffuse hellgrüne oder je nach Pflanzenart gelbliche oder rötliche Punkte in den Feldern zwischen den Blattnerven auf. Die Punkte werden mit der Zeit gelb, rot und schliesslich braun oder schwarz, das heisst nekrotisch. Die Zellen dieser Stellen sind geschädigt oder abgestorben. Je nach Pflanzenart äussern sich erste Ozonsymptome auch als bronzefarbene Verfärbung, welche sich später zu braunen Nekrosepunkten weiter entwickelt. Es ist noch nicht bekannt, ab welchem Stadium keine Regeneration mehr stattfinden kann oder sich erste sichtbare Symptome sogar auch dann weiterentwickeln, wenn keine Ozon- respektive keine Schönwetterperioden mehr folgen.

Arten mit homogener Verrötung oder Vergilbung sind schlechte Indikatoren für Ozon, da diese Verfärbungen auch bei klimatischen Veränderungen, Nährstoffmangel oder im Laufe der Blattentwicklung und bei der Herbstverfärbung auftreten. Die Ozonsymptome verstärken sich mit zunehmender Ozondosis (Konzentration x Zeit), sie nehmen deshalb mit dem Blattalter zu. Ein gutes Erkennungsmerkmal ist der Schatteneffekt, d. h. das Fehlen von Ozonsymptomen auf Blatteilen, welche von einem anderen Blatt dicht überdeckt sind. Suboptimale Ernährung oder Trockenheit beeinflussen die Schädigungen durch Ozon kaum. Starke Trockenheit führt allerdings zum Schliessen der Spaltöffnungen und dadurch wird die Aufnahme von Ozon verringert.

¹ maximaler Stundenmittelwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ darf einmal pro Jahr überschritten werden und 98% der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Monats müssen kleiner als $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sein.

Bei Koniferennadeln sind Ozonschädigungen von Auge erst sichtbar, wenn die Zellen im Nadelinnern schon stark geschädigt sind. Eine hellere oder bräunliche Nadelfarbe entsteht an besonnten Zweigen auf der Zweigoberseite und Nadeloberseite. Typische diffuse helle Punkte oder Verfärbungen auf den Nadeln, welche von Auge sichtbar sind, entstehen in Zentraleuropa erst in den folgenden Jahren. Diese vorjährigen Nadeln fallen früher ab als ungeschädigte.

Manchmal sind die Ozonsymptome schwierig von anderen Ursachen, insbesondere von schwachen Pilzinfektionen zu unterscheiden. Ob die sichtbaren Symptome im Zweifelsfall von Ozon stammen oder nicht, kann mit mikroskopischen Methoden aufgrund der Reaktionen der Zellen verifiziert werden.

2.4 Europaweite Untersuchungen

In Europa häufen sich die Beobachtungen von Ozonschädigungen, insbesondere in Südeuropa. Die Ozonsymptome werden deshalb im Rahmen des "International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests ([UN/ECE ICP-Forest](#))" seit 2001 in einem [Beobachtungsnetz](#) festgehalten. In diesem Kontext wurde an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH-8903 Birmensdorf) das „[International Ozone Validation Centre Central Europe](#)“ für die Differentialdiagnose von Ozonsymptomen an Blättern und Nadeln eingerichtet.

3. Methoden

3.1 Beobachtungsstandorte

Tabelle 1: Beobachtungsstandorte (weitere Daten zu den Standorten siehe Anhang)

Region	Nr.	Standort	Höhe (m ü. M.)	Beobachtungsjahre		
Zürich (ZH)	ZH1	Zürich Botanischer Garten	449	2008	2009	2011
	ZH2	Zürich Stöckenhaldenweg	560	2008	2009	2011
	ZH3	Zürich Orelliweg	636	2008	2009	2011
St.Gallen (SG) / Teufen (AR)	SG1	St.Gallen Rorschacher Strasse	670	2008	2009	2011
	SG2a	St.Gallen Stuelegg (Waldrand)	920	2008	2009	2011
	SG2b	St.Gallen Stuelegg (Hecke)	920	2008	2009	2011
	SG3	Teufen Farnbüel	940	2008	2009	2011
Mollis (GL, 2008)	GL1	Mollis Feldbach	450	2008		
	GL2a	Mollis Facht	570	2008		
	GL2b	Mollis Fachtlegg	600	2008		
	GL3	Mollis Schlatt	1'060	2008		
Riedern (GL, 2009)	GL1	Riedern Auli	600	2009		
	GL2a	Riedern Staldengarten	630	2009		
	GL2b	Riedern Büttenen	680	2009		
Triesen / Triesenberg (FL)	FL1	Triesen Sandteil	461	2008	2009	2011
	FL2	Triesen Unterforst	550	2008	2009	2011
	FL3a	Triesenberg Sütigerwies	840	2008	2009	2011
	FL3b	Triesenberg Guferwald	1'060	2008	2009	2011

3.2 Beurteilung der Ozonschäden

Die Ozonschäden wurden visuell anlässlich von Begehungen von Madeleine S. Günthardt-Goerg (International Ozone Validation Centre Central Europe, WSL) und Urs Heiz jeweils anfangs September beurteilt. Die Blätter wurden fotografiert und gesammelt. Die Bestimmung der Ozonsymptome wurde anhand der in einem Herbar gesammelten Blätter mittels Mikroskopie überprüft. Zum Bestimmen der Ozonsymptome wurden ein Bestimmungsschlüssel und Fototafeln erstellt. Die Schadbilder stehen als Download zur Verfügung ["Fotodokumentation zum Projekt Ozonsymptome an Laubbäumen"](#).

3.3 Messung der Ozonkonzentrationen

Die Ozonkonzentrationen wurden im Rahmen der OSTLUFT-Messungen mit kontinuierlich messenden Geräten von Monitor-Labs erfasst.

4. Resultate

4.1 Häufigkeit der Ozonschäden an Blättern

Im Sommer 2008 und besonders im August 2009 waren Regenperioden häufig. Die Ozonkonzentrationen sind bei solchen Verhältnissen tief. Deshalb waren die Ozonsymptome schwach ausgeprägt.

Trotz den verhältnismässig tiefen Ozonwerten (siehe Kapitel 4.3) konnten 2008 durchschnittlich an 45 % aller beobachteten Baum- und Straucharten Ozonsymptome festgestellt werden, 2009 dagegen lediglich an 29% (Tabelle 2).

Der Frühsommer 2011 bis Mitte Juli war warm und sonnig, so dass sich die Ozonsymptome gut ausprägten, durchschnittlich an 71 % aller in ZH, SG und FL beobachteten Baum- und Straucharten (in GL wurde 2011 keine Erhebung durchgeführt). Die Pilzinfektionen im eher nassen August führten zu relativ wenigen Ausfällen bei den Beobachtungen anfangs September.

Tabelle 2: Anteil der Baum- und Straucharten mit Ozonschäden (in Prozent, alle beobachteten Arten pro Region und Höhe bilden jeweils 100 %).

Region	Schäden [%] Höhe 1			Schäden [%] Höhe 2			Schäden [%] Höhe3			Durchschnitt [%]		
	2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011
ZH	57	62	71	46	8 **	50	71	21 **	75	58	30	65
SG/AR	50	33	53	58	17 **	66	62	50	80	57	33	66
FL	27	0 *	73	38	8 *	93	52	38	77	40	15	81
GL	0 *	50	—	38	25	—	38	33 ***	—	25	36	—

* Pilzinfektionen, welche die Ozonsymptome überlagern.

** Hecke / Unterwuchs am Waldrand zurückgeschnitten oder auf den Stock gesetzt, das heisst, es konnten auf den erst neu ausgetriebenen Blättern keine Ozonsymptome beobachtet werden, oder nur an einzelnen Pflanzen.

*** GL 2009: Höhe 2b

Die Häufigkeit variierte stark zwischen den einzelnen Standorten. Trotz unterschiedlicher Ausprägung der Standorte und trotz Beobachtungsausfällen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Häufigkeit von Schäden in stadtnahen Gebieten ist grösser als im ländlichen Raum. (Mehr Symptome an den stadtnahen oder städtischen Standorten von Zürich und St.Gallen als an den Standorten im Kanton Glarus und im Fürstentum Liechtenstein). Im Jahr 2011 hingegen zeigten am FL Standort 2, Waldrand, besonders viele Arten Symptome. An diesem Standort wurden Erdbewegungen und der Bau eines Reservoirs vorgenommen.
- In Städten sind die Schäden sowohl in der Innenstadt als auch in Aussenquartieren und stadtnahen Zonen hoch.

Mögliche Gründe für diese Unterschiede zwischen den Standorten sind:

- lokal unterschiedliche Ozonwerte
- verschiedene Exposition und Besonnung
(auf der Stuelegg (SG) ist die Hecke stärker exponiert als der Waldrand mit überhängenden Altbuchen)
- Die Höhenlage hat möglicherweise einen Einfluss auf den Grad der Schäden, dieser konnte jedoch nicht klar nachgewiesen werden.
- ungleiches Vorkommen empfindlicher Arten an den Standorten
- undeutliche, "verwischte" Ozonsymptome durch Pilzinfektionen insbesondere an feuchten Standorten

4.2 Auftreten von Ozonschäden nach Baum- und Strauchart

Insgesamt wurden an allen Standorten auf allen Höhen 180 Bäume und Sträucher (ohne Mehrfachvorkommen an mehreren Standorten 59 verschiedene Arten) untersucht. Die Beobachtungen nach Baum- und Straucharten sind in den folgenden Tabellen auf den nächsten Seiten zusammengefasst:

Tabelle 3: Ozonsymptome (Blattschädigungen) an den häufigsten Laubbäumen und Sträuchern der untersuchten Standorte

Tabelle 4: Arten, welche an mindestens einem Standort und in einem Jahr Ozonsymptome zeigten

Von den untersuchten Strauch- und Baumarten zeigten 27 im Jahr 2008, aber nur 23 im Jahr 2009, und 46 im Jahre 2011 typische oder zumindest schwache Ozonsymptome. Auf der Höhenstufe 1 aller Regionen waren es 17 verschiedene Arten im Jahr 2008, 13 im 2009 und 25 im 2011. Auf der Höhe 2 waren es 13 im 2008, aber nur 6 im 2009 und 26 im 2011 und auf Höhe 3 waren es 20, 15 respektive 28 Arten. Auf der höchsten Stufe wurden also am meisten geschädigte Arten beobachtet. In der europäischen Liste sind 34 dieser Arten als empfindlich bekannt sind. Nach dem Jahr 2011 mit weit verbreiteten Ozonsymptomen blieben nur noch drei Arten, welche an keinem der untersuchten Standorte in keinem Jahr Ozonsymptome aufgewiesen haben.

Trotz unterschiedlicher Ausprägung und Ausfall in den Beobachtungen hatten die Standorte in der Stadt Zürich und im Kanton St. Gallen/AR in den Jahren 2008 und 2009 ähnliche prozentuale Ozonschädigungen (Tab. 3), mehr als diejenigen in Liechtenstein. Im Jahr 2011 waren jedoch die Schädigungen am häufigsten in Liechtenstein. Solche Unterschiede können mit den Emissionen zusammenhängen und den Windrichtungen, welche die Emissionen aus den Ballungsgebieten verfrachten. Ausserdem ist immer die Aufnahme von Ozon in die Blätter abhängig von den lokalen Bedingungen (Beschattung, Feuchtigkeit, Temperatur). Geringe Schäden traten 2008 und 2009 an den Glarner Standorten auf.

Esche, Rotbuche, Hasel und wolliger Schneeball waren die besten Arten zur Bioindikation von Ozon, weil sie zu den häufigen Arten der untersuchten Standorte gehören.

Esche zeigte in den Jahren 2008 / 2009 / 2011 an 13 / 6 / 7, Rotbuche an 10 / 8 / 8, Haselstrauch an 7 / 6 / 6, und der wollige Schneeball an 7 / 3 / 7 von insgesamt 15 (2008), 14 (2009) resp. 11 (2011) Beobachtungsorten Schädigung durch Ozon an (Tabelle 3).

Tabelle 3: Ozonsymptome (Blattschädigungen) an den häufigsten Laubbäumen und Sträuchern der untersuchten Standorte

		Esche			Rotbuche			Hasel			Wolliger Schneeball		
		2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011
Zürich (ZH)	Botanischer Garten (449 m)	+	+	-	+	(+)	(+)				+	+	+
	Stöckenhaldenweg (560 m)	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-
	Orelliweg (636 m)	+	(+)	+	+	+	+	+	-	+	+	+	(+)
St.Gallen (SG) / Teufen (AR)	Rorschacher Strasse (670 m)	+	-	-				(+)	(+)	+			
	Stuelegg (Waldrand, 920 m)	+	(+)	-	-	(+)	+	(+)	-	-	+	-	+
	Stuelegg (Hecke, 920 m)	+	-	(+)				+	-	(+)	(+)	-	+
	Teufen Farnbüel (940 m)	+	+	+	+		+				+	-	+
Mollis (GL, 2008)	Feldbach (450 m)	-						-					
	Facht (570 m)	(+)			+								
	Fachtlegg (600 m)	+			(+)			-					
	Schlatt (1060 m)	(+)			(+)			(+)					
Riedern (GL, 2009)	Auli (600 m)		(+)			+			-				
	Staldengarten (630 m)					+			(+)				
	Büttenen (680 m)		-			+			+			(+)	
Triesen / Triesenberg (FL)	Sandteil (461 m)	-	-	+							-	-	-
	Unterforst (550 m)	+	-	+	+	-	+	+	(+)	+	-	-	(+)
	Triesenberg Sütigerwies (840 m)	+	(+)	+	+	+	+	-	(+)	+			
	Triesenberg Guferwald (1060 m)	+	-	+	+	(+)	+	+	(+)	+	+	-	+

+ typische Symptome

(+) schwache Symptome

- keine Symptome

Tabelle 4: Arten, welche an mindestens einem Standort und in einem Jahr Ozonsymptome zeigten (Abkürzungen der Standorte siehe Tabelle 1)

Lateinischer Pflanzennamen		Deutscher Pflanzennamen	mit Ozonsymptomen			mit schwachen, oder nicht typischen Ozonsymptomen			ohne Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011
Acer	campestre	Feldahorn	FL3a,ZH3		SG3,ZH1, ZH3				FL2,FL3b, GL1	FL2,FL3ab, GL2,ZH3	FL2, FL3ab
Acer	opalus	Schneeballblättriger Ahorn	ZH1							ZH1	ZH1
Acer	platanoides	Spitzahorn				ZH3			SG1	SG1,ZH3	SG1, ZH3
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	SG3		SG3,ZH3		FL3b, SG1		FL3b,GL3, SG1, SG2ab, ZH2,ZH3	GL1,GL2, GL3,SG2ab, SG3,ZH2, ZH3	FL3b, SG1, SG2ab, ZH2
Alnus	glutinosa	Schwarz-Erle		GL1					GL1		
Betula	pendula	Birke					FL3a	FL3a	FL1,FL3a	FL1	FL1
Buddleja	davidii	Buddleja			FL2						
Carpinus	betulus	Hagebuche	SG2b,ZH2, ZH3		SG1,SG2ab, ZH2, ZH3	SG1	SG2a		SG2a	SG1,SG2b, ZH2,ZH3	
Clematis	vitalba	Waldrebe						FL2	FL2	FL2	
Cornus	Mas	Kornelkirsche		ZH1	ZH1				ZH1		
Cornus	sanguinea	Hartriegel	SG2b		FL1, FL2,FL3ab, SG1,ZH3	FL1, FL3a,SG2a	FL3a	SG2b	FL1, GL2b, GL3, SG1, ZH2, ZH3	FL1,FL2,GL1, GL2,GL3, SG1,SG2ab, ZH2,ZH3	SG2a, ZH2
Cornus	sericea	Seidiger Hornstrauch			ZH2						
Corylus	avellana	Haselstrauch	FL2,FL3b, SG2b,ZH3	GL3	FL2,FL3ab, SG1,ZH3	GL3,SG1, SG2a	FL2,FL3a b,GL2, SG1	SG2b	FL3a,GL1, GL2b,ZH2	GL1,SG2ab, ZH2,ZH3	ZH2, SG2a
Cratagus	laevigata	Zweigrifflicher Weissdorn			SG2a				SG2a	SG2a	
Cratagus	monogyna	Eingrifflicher Weissdorn	ZH2	SG1	SG1, SG2ab,ZH3	FL3a,GL2b, SG1,SG2a	SG3	FL3ab, SG3	FL3b,SG3, ZH3	FL3ab,GL3,S G2a,ZH2,ZH3	ZH2
Euonmus	europaeus	Pfaffenhüchen	SG2b		SG3,FL3a, ZH2	FL3a		FL1, SG2b	FL1,GL1, ZH2	FL1,FL3a, SG2b,ZH2	ZH3

Lateinischer Pflanzennamen		Deutscher Pflanzennamen	mit Ozonsymptomen			mit schwachen, oder nicht typischen Ozonsymptomen			ohne Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011
Fagus	sylvatica	Rotbuche	FL2,FL3ab, GL2a,SG3, ZH1,ZH2, ZH3	FL3a,GL1, GL2,GL3, ZH3	FL2,FL3ab, SG2a,SG3, ZH2,ZH3	GL2b,GL3	FL3b, SG2a, ZH1	ZH1	SG2a	FL2,ZH2	
Forsythia	suspensa	Forsythie			SG1						
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	FL2,FL3ab, GL2b,SG1, SG2ab,SG3, ZH1,ZH2, ZH3	SG3,ZH1	FL1,FL2, FL3ab,SG3, ZH3	GL2a,GL3	FL3a, GL1, SG2a, ZH3	SG2b	FL1,GL1	FL1,FL2, FL3b,GL3, SG1,SG2b, ZH2	SG1, SG2a, ZH1,ZH2
Juglans	regia	Walnussbaum			ZH2	FL2		FL2	GL1,GL2b, FL1,ZH2	FL1,FL2, ZH2	FL1
Larix	decidua	Lärche			FL1						
Ligustrum	vulgare	Liguster		GL1,SG3	FL1,SG3, ZH1,ZH3	ZH1,ZH2, ZH3	ZH1,ZH2		FL1,FL3a, SG2b,SG3	FL1,FL3a, SG2b,ZH3	FL3a,SG2b ZH2
Lonicera	alpigena	Alpen-Heckenkische		SG3	FL2,SG3				FL2,SG3	FL2	
Lonicera	nigra	Schwarze Heckenkische			FL3b	FL3b			SG2a	FL3b,SG2a	SG2a
Lonicera	xylostenum	Rote Heckenkirsche			FL3a,ZH1, ZH2	FL1		FL1		FL1,GL2, GL3	
Malus	sylvestris	Holz-Apfelbaum			ZH1		GL1,ZH1		FL3b,ZH1	FL3b	
Picea	abies	Fichte			FL3a				FL3ab	FL3ab	FL3b
Pinus	sylvestris	Wald-Föhre	FL1 (vorjährige Nadeln)		FL1 (vorjährige Nadeln)					FL1	
Prunus	avium	Süsskirsche	FL3b	FL3a	FL1, FL2,FL3b	FL1,FL2, FL3a		SG2a	GL1,GL2a, FL2, SG2a	FL1,FL2, FL3b,SG2a	FL3a
Prunus	padus	Traubenkirsche		SG1	SG1				SG1		
Prunus	spinosa	Schwarzdorn						SG3,ZH1	FL3b,SG3, ZH1,ZH2	FL3b,GL2, SG3,ZH1, ZH2	FL3b, SG1,
Pyrus	pyraster	Wild-Birne			FL3a						
Quercus	petraea	Traubeneiche	SG3					FL2	FL2,FL3b	FL2, FL3b	FL3ab
Quercus	robur	Stieleiche			SG3	ZH1		ZH1	GL2ab, SG2a	SG2a,ZH1	SG2a

Lateinischer Pflanzname	Deutscher Pflanzname	mit Ozonsymptomen			mit schwachen, oder nicht typischen Ozonsymptomen			ohne Ozon-Symptome		
		2008	2009	2011	2008	2009	2011	2008	2009	2011
Ribes	rubrum	Johannis-beere						FL1	FL1	FL1
Robinia	Pseudo-acacia	Robinie					GL3		FL1	FL1
Rosa	canina	Rose			FL3ab,SG2b					
Rubus	fruticosus	Brombeere			FL2,ZH2				FL2	FL2
Salix	capraea	Sal-Weide			ZH3				FL1,GL3,SG2a	FL1,GL3,SG2a
Salix	viminialis	Korb-Weide	SG2b	SG2b	SG2b					
Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder			FL1,FL2			SG2a	FL2,GL1,GL3,SG1	FL2,GL1,GL3,SG1
Sorbus	aria	Mehlbeerbaum	FL3b		FL3b					FL3b
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	SG3	FL3a	FL1,FL3a,SG2b	FL3a			FL1,FL3b,GL1,GL3	FL1,FL3b
Sorbus	domestica	Spierling	ZH1		ZH1					ZH1
Sorbus	torminalis	Elsbeerbaum	ZH1		ZH1		ZH1			
Spiraea	ulmifolia	Spierstrauch			SG1					
Symphoricarpos	albus	Schneebeere	SG1							SG1
Syringa	vulgaris	Flieder	SG1				SG3	SG1		SG1,3
Taxus	baccata	Eibe						ZH1 (vorjährige Nadeln)	ZH1 (vorjährige Nadeln)	SG3,ZH1
Tilia	cordata	Winter-Linde			ZH2		ZH3		GL2ab	GL2,ZH3
Ulmus	glabra	Berg-Ulme						FL3b	FL3a	FL3b
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	FL3b,SG2a,SG3,ZH1,ZH2,ZH3	ZH1,ZH3	FL3b,SG2ab,ZH1	SG2b	GL3	FL2	FL1,FL2	FL1,FL2,FL3b,SG2abSG3,ZH2
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	SG2a,SG3	SG3	SG2a,SG3	SG2b,ZH3		FL3b,SG2b,ZH3	FL1	FL1,GL1,SG2ab,ZH3

Die Weisstanne, Abies alba (FL3a), Roskastanie, Aesculus hippocastanum (SG1), die Grau-Erle, Alnus incana (GL1, 2008, GL3, 2009), die Zitterpappel, Populus tremula (ZH3), der Kreuzdorn, Rhamnus catharticus (ZH1, FL1) und die Himbeere, Rubus idaeus (SG2) zeigten in keinem Jahr Ozonsymptome.

4.3 Ozonmessungen

In den Untersuchungsjahren 2008 und 2009 verhinderte die wechselhafte Witterung mit häufigen Frontdurchgängen und hoher Luftfeuchtigkeit mit entsprechend trüber Atmosphäre lang anhaltende hohe Ozonbelastungen. 2009 traten grössere regionale Unterschiede auf als 2008 (vgl. Tabelle 5 und Tabelle 6). 2011 hingegen verursachte das trockene sonnige Wetter im April und Mai bereits hohe Ozonwerte, welche dann durch das wechselhafte Wetter in den Sommermonaten nicht noch höher anstiegen.

Die maximale Konzentration lag in allen Regionen über dem Stundenmittel-Grenzwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Während 2008 an 28 (St.Gallen Rorschacher Strasse) bis 39 (Zürich Heubeeribüel) Tagen Grenzwertüberschreitungen auftraten, waren es 2009 zwischen 19 (Zürich Stampfenbachstrasse) und 44 (Zürich Heubeeribüel) und 2011 zwischen 20 (Zürich Stampfenbachstrasse) und 57 (St.Gallen Stuelegg) Tage. Die höchsten Werte nach verschiedenen Kriterien wurden in den Untersuchungsjahren 2008 und 2009 an der Station Zürich Heubeeribüel gemessen, im Jahr 2009 traten auch in St.Gallen Stuelegg vergleichbar hohe Werte auf, wo 2011 die am längsten andauernden Höchstbelastungen gemessen wurden.

Die mittlere Ozonkonzentration über die Vegetationsperiode war an allen für diese Untersuchung beigezogenen Messstationen 2011 etwas höher als 2009, ausser in Vaduz, wo in beiden Jahren $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet wurde. 2009 wiederum war die mittlere Ozonkonzentration etwas höher als 2008, oder zumindest gleich hoch. 2008 wurden Werte von $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zürich Stampfenbachstrasse) bis $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Glarus) erreicht, 2009 von $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zürich Stampfenbachstrasse) bis $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zürich Heubeeribüel) und 2011 von $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Zürich Stampfenbachstrasse) bis $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (St.Gallen Stuelegg).

Tabelle 5: Ozonkenngrössen 2008

2008	maximaler Stundenmittelwert [g/m^3]	Anzahl Überschreitungen des Stundenmittel-Grenzwertes	Tage mit Überschreitung des Stundenmittel-Grenzwertes	maximales 98-Perzentil [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mittel über Vegetationsperiode [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Zürich Stampfenbachstrasse	152	114	29	135	70
Zürich Heubeeribüel	169	193	39	141	78
St.Gallen Rorschacher Strasse	149	115	28	131	73
St.Gallen Stuelegg	146	153	29	133	75
Vaduz	161	144	30	137	73
Glarus	153	169	36	141	79

Tabelle 6: Ozonkenngrössen 2009

2009	maximaler Stundenmittelwert [g/m^3]	Anzahl Überschreitungen des Stundenmittel-Grenzwertes	Tage mit Überschreitung des Stundenmittel-Grenzwertes	maximales 98-Perzentil [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Mittel über Vegetationsperiode [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
Zürich Stampfenbachstrasse	142	51	19	133	73
Zürich Heubeeribüel	165	236	44	145	82
St.Gallen Rorschacher Strasse	138	147	30	126	75
St.Gallen Stuelegg	164	277	42	137	79
Vaduz	159	188	41	132	77
Glarus	155	139	38	130	80

Tabelle 7: Ozonkenngrößen 2011

2011	maximaler Stundenmittelwert [g/m ³]	Anzahl Überschreitungen des Stundenmittel-Grenzwertes	Tage mit Überschreitung des Stundenmittel-Grenzwertes	maximales 98-Perzentil [µg/m ³]	Mittel über Vegetationsperiode [µg/m ³]
Zürich Stampfenbachstrasse	162	114	20	139	75
Zürich Heubeeribüel	177	296	40	150	83
St.Gallen Rorschacher Strasse	165	174	34	148	80
St.Gallen Stuelegg	174	523	57	160	90
Vaduz	166	213	38	148	77
Glarus	174	200	43	147	82

Die Ozonbelastung lag in den Jahren 2008 und 2009 unter dem Durchschnitt der Jahre 2001 bis 2011 (ohne das Extremjahr 2003). Im Jahr 2011 bewegte sich die Ozonbelastung im Bereich des 10-Jahresmittel.

Tabelle 8: Durchschnittliche Ozonwerte 2001 bis 2011 (ohne 2003)

2001-2011	maximaler Stundenmittelwert [g/m ³]	Anzahl Überschreitungen des Stundenmittel-Grenzwertes	Tage mit Überschreitung des Stundenmittel-Grenzwertes	maximales 98-Perzentil [µg/m ³]
Zürich Stampfenbachstrasse	176	168	33	148
Zürich Heubeeribüel	189	302	47	158
St.Gallen Rorschacher Strasse	169	173	34	145
St.Gallen Stuelegg	178	506	55	158
Vaduz (ab 2005)	169	202	39	149
Glarus	180	212	44	151

4.4 Vergleich zwischen Ozonmessungen und beobachteten Schäden

Obwohl die Ozonkonzentrationen 2008 und 2009 gering waren, zeigten einige Baum- und Straucharten Schädigungen durch Ozon. Im Frühling 2011 führte das trockene sonnige Wetter bereits im Mai an den meisten Stationen zu den höchsten Stundenmittelwerten des Jahres. Die häufigste Überschreitung des Kurzzeitgrenzwertes registrierte der Höhenstandort St.Gallen Stuelegg, wo an mehreren Tagen auch während der Nacht die Ozonkonzentrationen nicht unter den Stundenmittel-Grenzwert zurückgingen und verglichen mit 2008 die Ozonschädigungen nur leicht erhöht waren. Eine direkte Korrelation der gemessenen Ozonkonzentrationen und dem Anteil der Pflanzen mit Schäden ist jedoch nicht möglich. Die Blätter nehmen verstärkt Ozon auf, wenn die Temperatur, das Licht, die Wasserverfügbarkeit und das Blattalter optimal sind. Je nach Jahr, Standort und Pflanzenart ist das von Juni bis Anfang September der Fall, was zu erheblichen regionalen Unterschieden führt. Schäden entstehen erst, wenn die aufgenommene Dosis (Zeit multipliziert mit der Konzentration) die Entgiftungs-Kapazität übersteigt. Dazu sind mindestens 14-tägige Schönwetterperioden mit erhöhtem Ozon nötig.

Ein direkter Vergleich der Messungen mit den beobachteten Schäden ist schwierig, weil zwischen diesen beiden Erhebungen zu grosse methodische Unterschiede bestehen. Die Messung findet an einem Punkt statt, hauptsächlich in Siedlungen und auf freiem Feld. Die Baumerhebung liegt in 4 von

6 Fällen nicht am selben Standort wie die Messstation. Sie ist über eine gewisse Fläche verteilt und bezieht sich vorwiegend auf Wälder und Waldränder. Ausser in den Städten Zürich und St.Gallen, wo Messstationen auf zwei Höhenstufen zur Verfügung standen, gab es in den Untersuchungsregionen jeweils nur eine einzige Ozonmessstation. Der Vergleich zwischen den verschiedenen Pflanzenerhebungsstandorten ist ebenfalls schwierig, weil sie über ein unterschiedliches Artenspektrum verfügen und weil die Höhenstufen 1, 2 und 3 in jeder Region auf unterschiedlichen Höhen angesiedelt sind.

5. Diskussion

In den Untersuchungsjahren 2008 und 2009 verhinderte die wechselhafte Witterung mit häufigen Frontdurchgängen lang anhaltende hohe Ozonbelastungen. Die gemessenen Ozonkonzentrationen waren in diesen beiden Sommern eher tief. Das führte dazu, dass die Ozonschäden an den Blättern von Laubbäumen und Sträuchern schwach ausgeprägt waren. Trotzdem wiesen in den untersuchten Gebieten im Jahr 2008 zwischen 25 und 58 % und im Jahr 2009 zwischen 15 und 36 % aller Bäume Schäden auf (ausgenommen sind Standorte mit speziellen Verhältnissen). Im Untersuchungsjahr 2011 bewegte sich die Ozonbelastung im Durchschnitt der letzten zehn Jahre und Ozonschäden wurden in diesem Jahr an 65 bis 81 % der beobachteten Baum- und Straucharten festgestellt. Stadtnahe Gebiete zeigten in der Regel grössere Schäden. Dieser Befund lässt sich nicht direkt mit den gemessenen Ozonkonzentrationen korrelieren, welche an den Stationen Zürich Stampfenbachstrasse und St.Gallen Rorschacher Strasse eher tief ausfielen. Es ist anzunehmen, dass in Stadtnähe die Pflanzen generell grösserem Stress ausgesetzt sind, zum Beispiel durch das Zusammenwirken von verschiedenen Luftschadstoffen, und deshalb sensibler auf die Ozonbelastung reagieren.

2008 und 2011 wurde mit steigender Höhenlage, insbesondere in ländlichen Gebieten, eine zunehmende Häufigkeit der Schädigungen beobachtet. Eine generelle Höhenabhängigkeit der Schäden konnte jedoch 2009 nicht bestätigt werden.

Die vorliegende Methode der Beurteilung von Ozonschäden an Laubblättern ist besonders gut geeignet, um in Jahren mit hohen Ozonkonzentrationen die hervorgerufenen Schäden zu erfassen. In Jahren mit moderaten Ozonkonzentrationen sind diese Schäden zwar auch ersichtlich, aber weniger spektakulär. Trotzdem ist diese Methode – besonders wenn sie noch stärker standardisiert wird – dazu geeignet, Ozonschäden an Pflanzen aufzuzeigen und damit die direkten Folgen erhöhter Schadstoffkonzentrationen, nicht nur für die menschliche Gesundheit, sondern auch für Laubbäume, Sträucher und Kulturpflanzen bewusst zu machen.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Aus den Ergebnissen der drei Untersuchungsjahre ergeben sich folgende Erkenntnisse (Schlussfolgerungen des OSTLUFT-Leistungszentrum Information vom September 2012):

- Die Häufigkeit von Schäden in stadtnahen Gebieten ist grösser als im ländlichen Raum (ZH, SG, FL gegenüber GL).
- In Städten sind die Schäden sowohl in der Innenstadt wie in Aussenquartieren und stadtnahen Zonen gleichermassen hoch.
- Die meisten Schäden wurden 2008 und 2011 auf den höchsten Standorten beobachtet.

Für weitergehende Projekte können zudem folgende Erkenntnisse abgeleitet werden:

- Unbestritten ist, dass hohe Ozonkonzentration Schäden an Laubblättern zur Folge haben.
- Schäden sind jedoch unterschiedlich und korrelieren nicht mit der Ozonkonzentration.
- Anhand der Schäden an den Laubblättern kann nicht auf die Ozonkonzentration geschlossen werden. Auch ist kein direkter Schluss auf eine Gesundheitsgefährdung beim Menschen möglich.
- Je nach Standort, Witterung (Trockenheit!), Exposition, Bodenbeschaffenheit, Schädlingsbefall (Pilze, Insekten etc.), Pflanzenart etc. reagieren die Laubblätter unterschiedlich auf Ozon

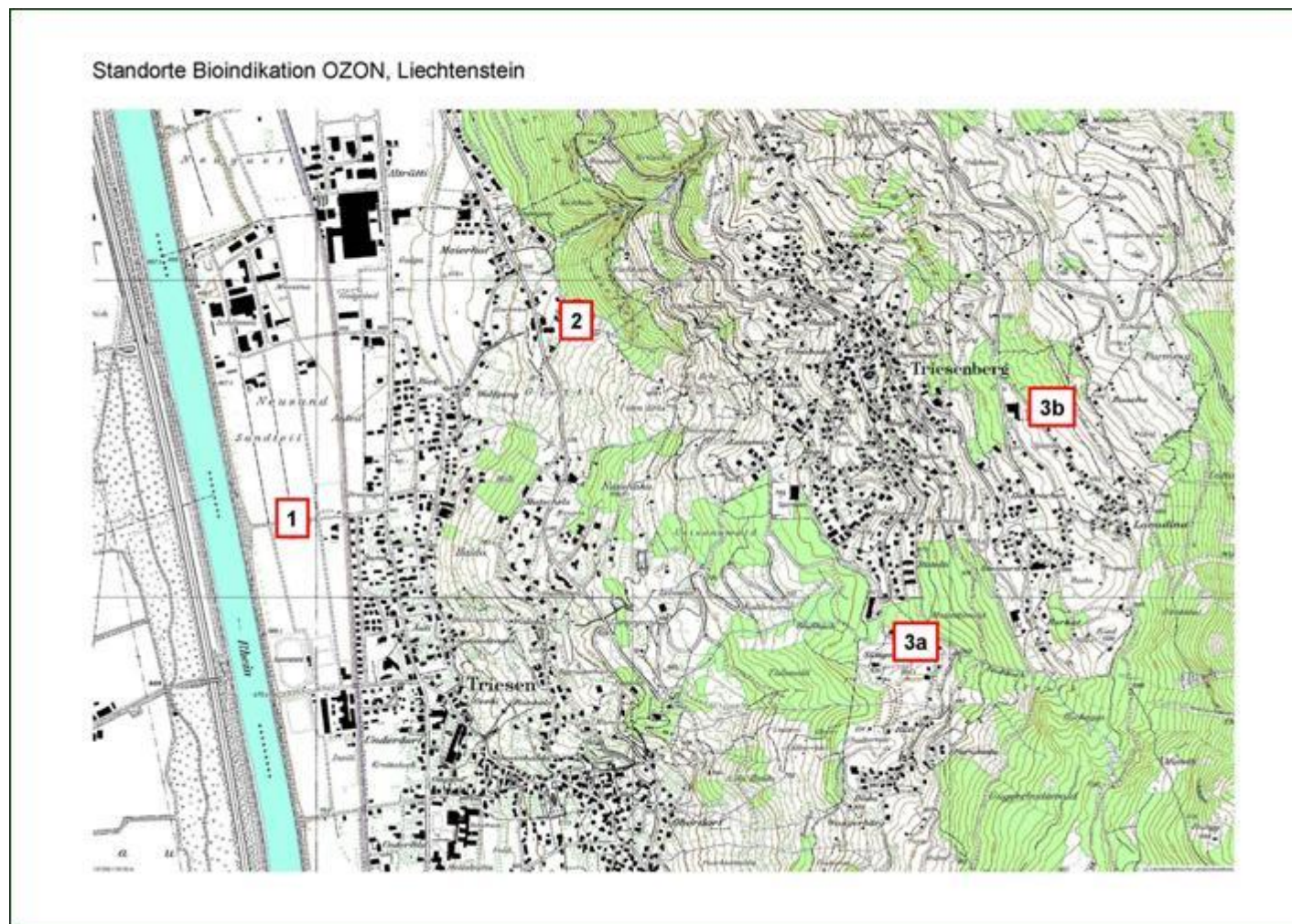
**Hohe Ozonkonzentration in der Luft bewirkt eine Laubblattschädigung.
Aufgrund der Art der Laubblattschäden kann nicht auf die Höhe der
Ozonkonzentration geschlossen werden.**

7. Literatur zum Thema

- Ozone Injury European Forest Species: www.ozoneinjury.org/
- WSL Ozon-Quiz: www.wsl.ch/forest/products/ozone/
- WSL CD "Ozon wirkt": www.wsl.ch/forest/wus/ozon/Ozon_CD/ozon_de.html
- Ozone Validation Centre Central Europe - WSL, www.wsl.ch/fe/walddynamik/projekte/microscopy/index_DE
- Günthardt-Goerg, M.S., Dalstein, L., Vollenweider, P., Menard, T. (2008): Contribution du réseau à la compréhension des effets de l'ozone en forêt et sur la végétation de clairière. RenDez-Vous techniques, hors-série n° 4 "15 ans de suivi des écosystèmes forestiers. Résultats, acquis et perspectives de RENECOFOR", 87-93.
- Günthardt-Goerg, M.S. and Vollenweider, P. (2007): Linking stress with macroscopic and microscopic leaf response in trees: New diagnostic perspectives. Env. Poll. 147, 467-88.
- Vollenweider, P. and Günthardt-Goerg, M.S. (2006): Diagnosis of abiotic and biotic stress factors using the visible symptoms in the foliage. Env. Poll. 140, 562-571.
- Ulrich, E., Dalstein, L., Günthardt-Goerg, M.S., Vollenweider, P., Cecchini, S., Vas, N., Sjöberg, K., Skarman, T., Karlsson, G.P. (2006): Effets de l'ozone sur la végétation, concentrations d'ozone (2000-2002) et symptômes d'ozone sur la végétation forestière (2001-2003). RENECOFOR. Ed. Office National des Forêts, Direction Technique, Département Recherche, 126 p.
- Ulrich, E. Cecchini, S., Dalstein, L., Vas, N., Günthardt-Goerg, M.S., Vollenweider, P., Karlsson, G.P. (2005): Concentrations d'ozone en zone forestière et symptômes d'ozone observés sur la végétation dans le réseau Renécofor. Office National des Forêts, ONF, RenDez-Vous techniques 10, 3-11.
- Dittmar C., Elling W., Günthardt-Goerg M.S., Mayer F.-J., Gilge S., Winkler P. und Fricke W. (2004): Ozonsymptome an Blättern von Esche, Bergahorn und Buche am nördlichen Alpenrand in Sommer 2003. Witterungsverlauf, Ozonbelastung und Schädigungssymptome im Extremsommer 2003. AFZ 13, 683-685.
- Günthardt-Goerg M.S. (2001): Erkennen von Ozonsymptomen an Waldbaumarten. Wald und Holz 10, 30-33.
- Günthardt-Goerg M.S. und Vollenweider P. (2001): Diagnose von Umwelteinflüssen auf Bäume. SZF 152 (5): 183-192.
- Günthardt-Goerg M.S., McQuattie C.J., Maurer S. and Frey B. (2000): Visible and microscopical injury in leaves of five deciduous tree species related to current critical ozone levels. Env. Poll. 109: 3, 489-500.

8. Anhang

Fürstentum Liechtenstein: Standortübersicht



Fürstentum Liechtenstein: Beobachtung von Ozonsymptomen an Blättern von Bäumen und Sträuchern

Die Häufigkeit der Ozonsymptome nimmt zu mit steigender Höhe.

FL1: Sandteil, Gemeinde Triesen (Höhe 1)

Höhe: 461 m ü. M., Koordinaten: 157'910 / 20'240 (Liechtensteiner Landeskoordinaten!), Neigung: eben, Exposition: Süd, Bodentyp: Braunerde, Bodenfeuchte: wechselfeucht, Nutzung: Windschutzgehölz

Lateinischer Pflanzename		Deutscher Pflanzename	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Betula	pendula	Birke	-	-	-
Cornus	sanguinea	Hartriegel	(+)	-	+
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen	-	-	(+)
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	-	-	+
Juglans	regia	Nussbaum	-	-	
Larix	decidua	Lärche			+
Ligustrum	vulgare	Liguster	-	-	+
Lonicera	xylostenum	Rote Heckenkirsche	(+)	-	(+)
Pinus	sylvestris	Waldföhre	(+)	-	+
Prunus	avium	Süsskirsche	(+)	-	
Rhamnus	cathartica	Gemeiner Kreuzdorn			-
Ribes	rubrum	Johannisbeere	-	-	(+)
Robinia	pseudoacacia	Robinie	-	-	-
Salix	caprea	Sal-Weide	-	-	-
Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder			+
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	-	-	+
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	-	-	-
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	-	-	

Ozonsymptome: + vorhanden; (+) atypisch/schwach; - fehlend



FL2: Unterforst, Gemeinde Triesen (Höhe 2)

Höhe: 550 m ü. M., Koordinaten: 158'835 / 20'915, Neigung: 25-30 %, Exposition: Süd-West, Bodentyp: Humuskarbonatboden, zwischen Rendzina und Braunerde, Bodenfeuchte: wechselfeucht, Nutzung: Waldrand, Wald mit Vorrangfunktion Steinschlagschutz

Lateinischer Pflanzename		Deutscher Pflanzename	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	campestre	Feldahorn	-	-	-
Buddleja	davidii	Buddleja			+
Clematis	vitalba	Waldrebe	-	-	(+)
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	-	+
Corylus	avellana	Haselstrauch	+	(+)	+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	-	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	-	+
Juglans	regia	Walnussbaum	(+)	-	(+)
Lonicera	alpigena	Alpen-Heckenkirsche	-	-	+
Prunus	avium	Süsskirsche	(+)	-	+
Quercus	petraea	Trauben-Eiche	-	-	(+)
Rubus	fruticosus	Brombeere	-	-	+
Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder	-	-	+
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	-	-	(+)



FL3a: Sütigerwis, Gemeinde Triesenberg (Höhe 3a)

Höhe: 840 m ü. M., Koordinaten: 159'885 / 19'885, Neigung: 15–40 %, Exposition: Süd, Bodentyp: Humuskarbonatboden, zwischen Rendzina und Braunerde, Bodenfeuchte: wechselfeucht, Nutzung: Waldrand, Wald mit Vorrangfunktion Holzproduktion

Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Abies	alba	Weisstanne	-	-	-
Acer	campestre	Feldahorn	+	-	-
Betula	pendula	Birke	-	(+)	(+)
Cornus	sanguinea	Hartriegel	(+)	(+)	+
Corylus	avellana	Haselstrauch	-	(+)	+
Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	(+)	-	(+)
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen	(+)	-	+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	+	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	(+)	+
Ligustrum	vulgare	Liguster	-	-	-
Lonicera	xylosteum	Rote Heckenkirsche			+
Picea	abies	Fichte	-	-	+
Prunus	avium	Süsskirsche	(+)	+	
Pyrus	pyraster	Wildbirne			+
Quercus	petraea	Traubeneiche			-
Rosa	canina	Wilde Rose			+
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	(+)	+	+
Ulmus	glabra	Bergulme			(+)



FL3b: Guferwald, Gemeinde Triesenberg (Höhe 3b)

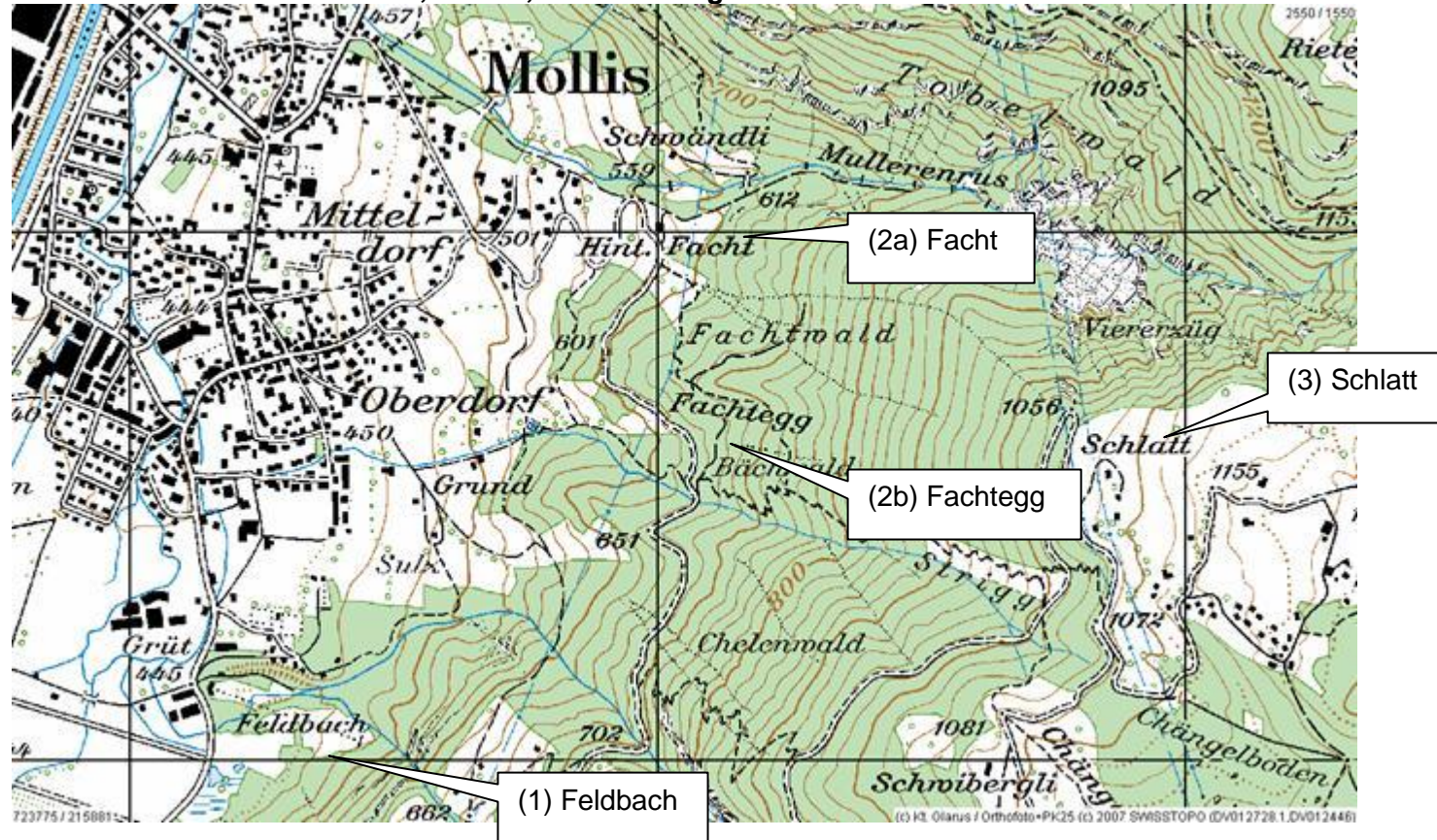
Höhe: 1060 m ü. M., Koordinaten: 160'325 / 20'615, Neigung: 45-60 %, Exposition: Süd, Bodentyp: Humuskarbonatboden, Rendzina, Bodenfeuchte: trocken, Nutzung: Waldrand, Wald mit Vorrangfunktion Holzproduktion

Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	campestre	Feldahorn	-	-	-
Acer	pseudoplat.	Bergahorn	-	(+)	-
Cornus	sanguinea	Hartriegel			+
Corylus	avellana	Haselstrauch	+	(+)	+
Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	-	-	(+)
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	(+)	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	-	+
Lonicera	nigra	Schw. Heckenkirsche	(+)	-	(+)
Malus	sylvestris	Holzapfel	-	-	
Picea	abies	Fichte	-	-	-
Prunus	avium	Süsskirsche	+	-	+
Prunus	spinosa	Schwarzdorn	-	-	-
Quercus	petraea	Trauben-Eiche	-	-	-
Rosa	canina	Wilde Rose			+
Sorbus	aria	Mehlbeerbaum	(+)	-	+
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	-	-	
Ulmus	glabra	Bergulme	-	(+)	
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball			(+)
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	-	+



Glarus: Standortübersicht 2008

Standorte Bioindikation OZON, Glarus, Beobachtung 2008



Glarus: Beobachtung von Ozonsymptomen an Blättern von Bäumen und Sträuchern

Die Standorte sind feucht. Häufiger Regen lässt das Ozon zerfallen und führt zu Pilzinfektionen an den Blättern. Verglichen mit ZH, SG und FL wurden hier am wenigsten Ozonsymptome beobachtet.

GL1 2008: Mollis, Feldbach (Höhe 1)

Höhe: 450 m ü. M., Koordinaten 724'000 / 216'050, Neigung: 0 - 10%, Exposition: Süd, Nutzung: Amphibienlaichgebiet, Waldgesellschaft: EK 28 / 9



Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2008
Acer	campestre	Feldahorn	-
Alnus	incana	Grauerle	-
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-
Corylus	avellana	Haselstrauch	-
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen	-
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	-
Juglans	regia	Walnussbaum	-
Prunus	avium	Süsskirsche	-
Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder	-
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	-

Ozonsymptome: + vorhanden; (+) atypisch/schwach; - fehlend

GL2a 2008: Mollis, Facht (Höhe 2a)

Höhe: 570 m. ü. M., Koordinaten 725'000 / 217'050, Neigung: 25%, Exposition: Süd, Nutzung: Landwirtschaft, Waldgesellschaft: EK 9

GL2b 2008: Fachtlegg (Höhe 2b)

Höhe: 600 m. ü. M., Koordinaten 724'870 / 216'700, Neigung: 55%, Exposition: Süd, Nutzung: Landwirtschaft, Waldgesellschaft: EK 9



Facht

Fachtlegg

Facht			
Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2008
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+
Fraxinus	excelsior	gewöhnliche Esche	(+)
Prunus	avium	Süsskirsche	-
Quercus	robur	Stieleiche	-
Tilia	cordata	Winterlinde	-

Fachtlegg			
Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2008
Cornus	mas	Kornelkirsche	-
Corylus	avellana	Haselstrauch	-
Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	(+)
Fagus	sylvatica	Rotbuche	(+)
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+
Juglans	regia	Walnussbaum	-
Quercus	robur	Stieleiche	-
Tilia	cordata	Winterlinde	-

GL3 2008: Mollis, Schlatt (Höhe 3)

Höhe: 1060 m. ü. M., Koordinaten 725'770 / 216'580, Neigung: 3%, Exposition: Ost, Nutzung: Landwirtschaft, Waldgesellschaft: EK 18b

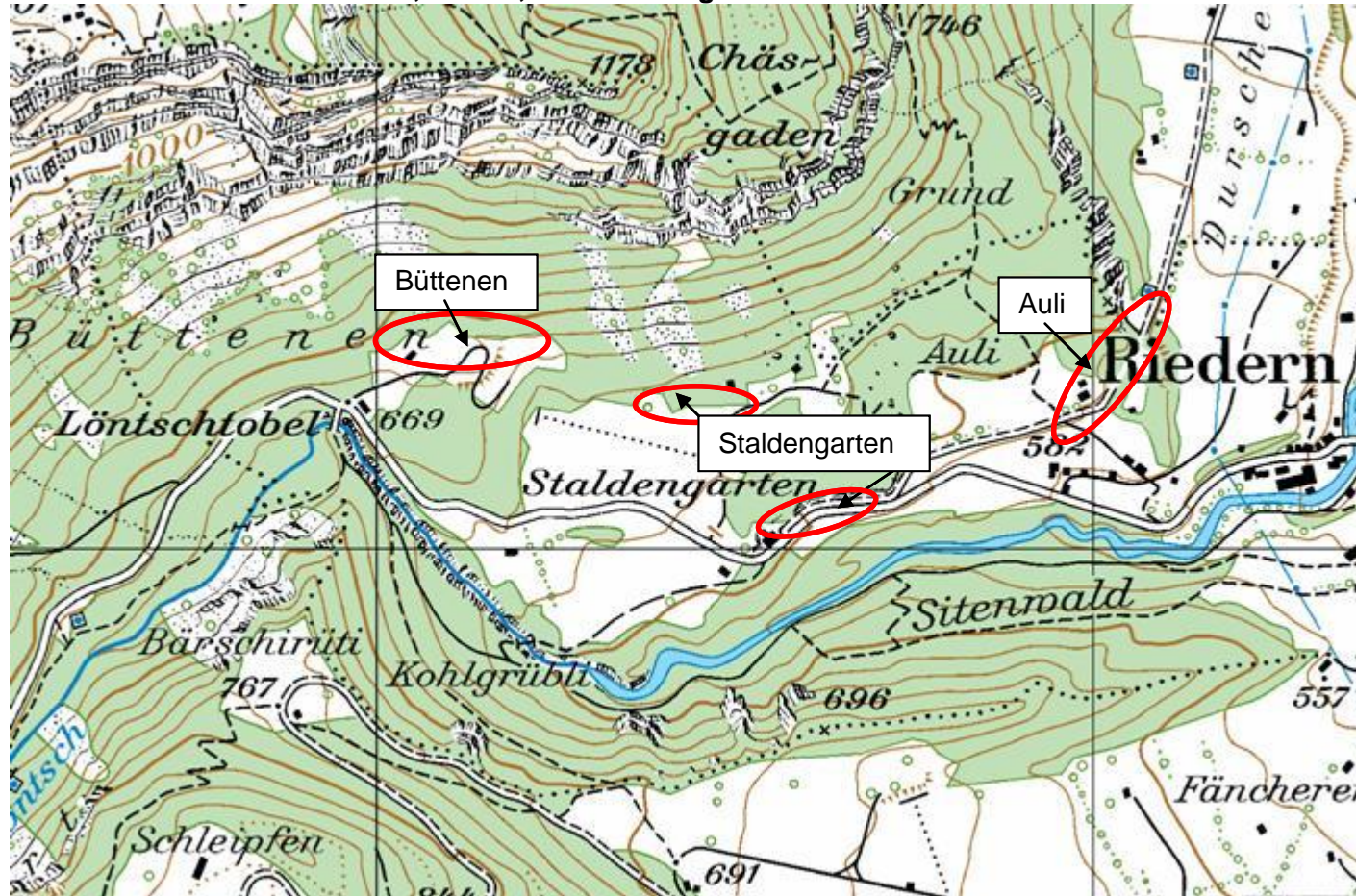


Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2008
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	-
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-
Corylus	avellana	Haselstrauch	(+)
Fagus	sylvatica	Rotbuche	(+)
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	(+)
Salix	caprea	Sal-Weide	-
Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder	-
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	-

Glarus: Standortübersicht 2009

Für die Beobachtung 2009 wurden im Kanton Glarus neue Standorte bei Riedern ausgewählt.

Standorte Bioindikation OZON, Glarus, Beobachtung 2009



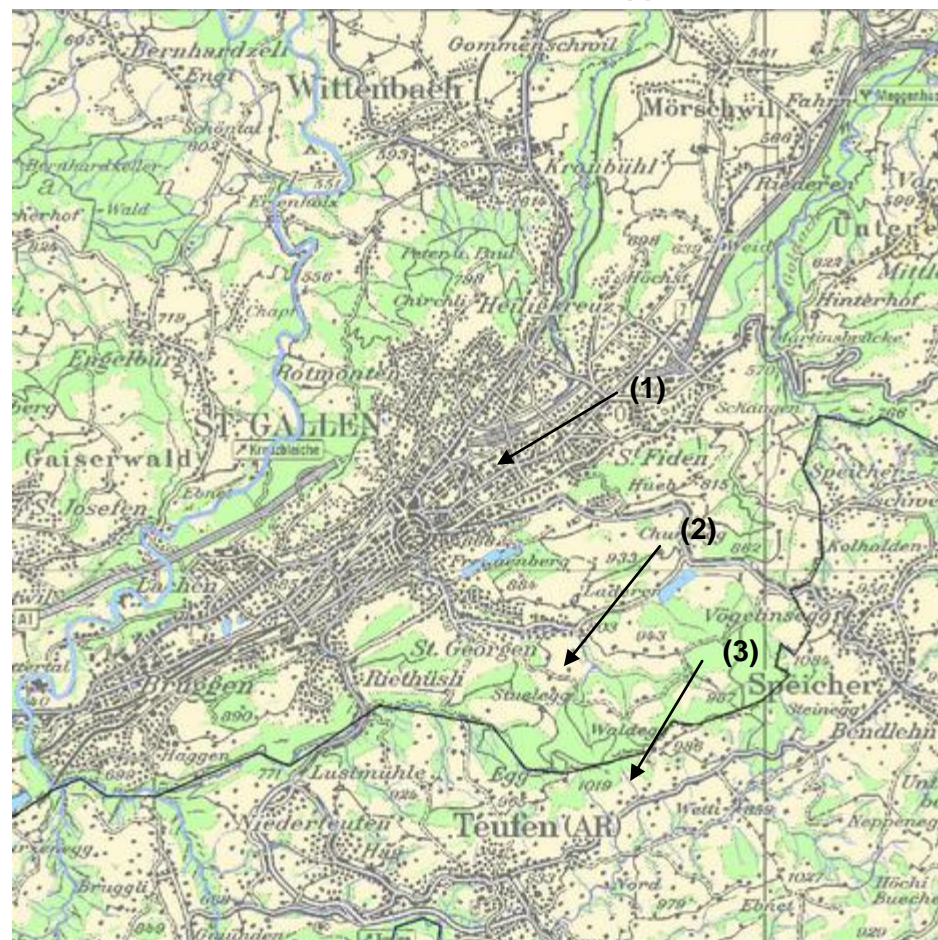
Es gab an allen Standorten starke Hagelschäden, teilweise mit nachfolgenden Pilzinfektionen, welche Ozonsymptome überlagerten.

Riedren (GL)	GL1 2009: Auli	GL2a 2009: Staldengarten	GL2b 2009: Büttenen
Waldvegetation	9, Platterbsen-Buchenwald mit Efeu	9, Platterbsen-Buchenwald mit Efeu	9, Platterbsen-Buchenwald mit Efeu
Höhe über Meer	600 m	630 m	680 m
Koordinaten	721'650/212'060	721'480/212'220	721'100/212'280
Neigung	20°	40°	60°
Exposition	Süd	Süd	Süd
Waldfunktion	Nutzfunktion	Bedeutung Naturschutz und normale Schutzfunktion	Bedeutung für Naturschutz und besondere Schutzfunktion
Nutzung	Normale Holznutzung	Normale Holznutzung	Sonderwaldreservat für Tagfalter und Amphibien

Auli				Staldengarten				Büttenen			
Lateinischer Pflanzennamenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2009	Lateinischer Pflanzennamenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2009	Lateinischer Pflanzennamenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome 2009
Acer	pseudo-platanus	Bergahorn	-	Acer	campestre	Feldahorn	-	Acer	pseudo-platanus	Bergahorn	-
Alnus	glutinosa	Schwarz-Erle	+	Acer	pseudo-platanus	Bergahorn	-	Alnus	incana	Grauerle	-
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	Cornus	sanguinea	Hartriegel	-
Corylus	avellana	Haselstrauch	-	Corylus	avellana	Haselstrauch	(+)	Corylus	avellana	Haselstrauch	+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	-
Fraxinus	excelsior	Esche	(+)	Lonicera	xylosteum	Rote Heckenkirsche	-	Fagus	sylvatica	Rotbuche	+
Ligustrum	vulgare	Liguster	+	Prunus	spinosa	Schwarzdorn	-	Fraxinus	excelsior	Esche	-
Malus	sylvestris	Holzapfel	(+)	Tilia	cordata	Linde	-	Lonicera	xylosteum	Rote Heckenkirsche	-
Sambucus	nigra	Schwarzer Hollunder	-					Robinia	pseudo-acacia	Robinie	(+)
Ulmus	glabra	Bergulme	-					Salix	caprea	Sal-Weide	-
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	-					Sambucus	nigra	Schwarzer Hollunder	-
								Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	(+)

Stadt St.Gallen (SG) / Teufen (AR): Standortübersicht

Standorte Bioindikation OZON, St. Gallen / Appenzell Ausserrhoden



St.Gallen / Appenzell Ausserrhoden: Beobachtung von Ozonsymptomen an Blättern von Bäumen und Sträuchern

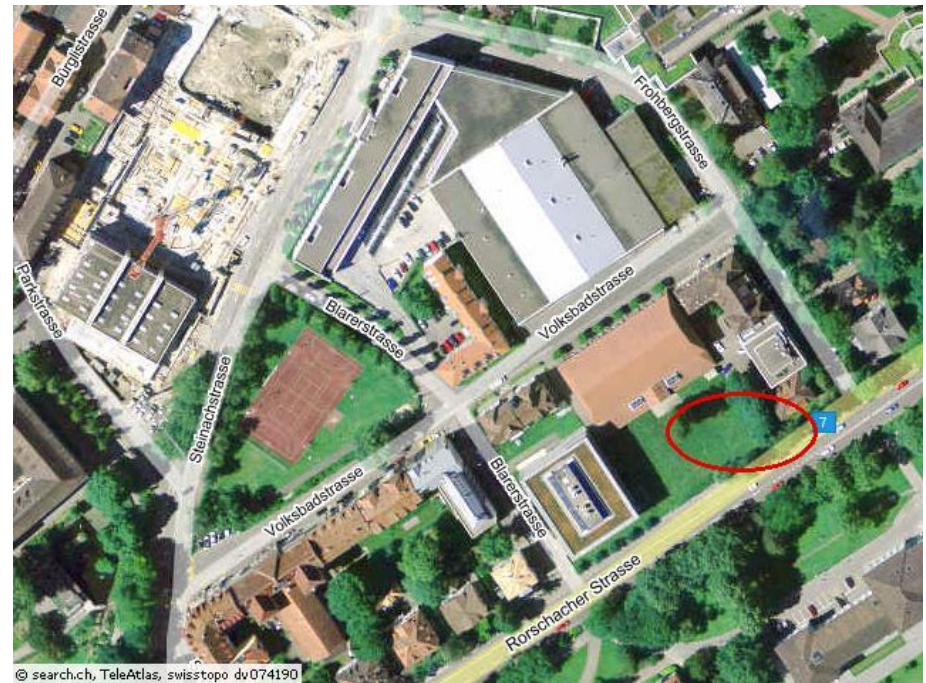
Die Ozonwerte und die -symptome sind lokal verschieden (mehr Ozon am Farnbüel (AR) als in der Stadt St.Gallen (Rorschacher Strasse), zudem entscheidet die Exposition oder Besonnung (Stuelegg: die Hecke ist besser exponiert als der Waldrand mit überhängenden Altbuchen), ob Ozon zu Schadsymptomen auf den Blättern führt.

SG1: St. Gallen, Rorschacherstrasse (Höhe 1)

Höhe: 670 m ü. M., Koordinaten 748'150 / 255'100, Neigung: eben, Exposition: S-SW, Nutzung: Garten

Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	platanoides	Spitzahorn	-	-	-
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	-	(+)	-
Aesculus	hippocastanum	Roskastanie	-	-	-
Carpinus	betulus	Hagebuche	(+)	-	+
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	-	+
Corylus	avellana	Haselstrauch	(+)	(+)	+
Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	(+)	+	+
Forsythia	suspensa	Forsythie			+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	-	-
Prunus	padus	Traubenkirsche	-	+	+
Prunus	spinosa	Schwarzdorn			-
Sambucus	nigra	Schwarzer Hollunder	-	-	-
Spiraea	ulmifolia	Spierstrauch			+
Symphoricarpos	albus	Schneebeere	+	-	-
Syringa	vulgaris	Flieder	+	-	(+)

Ozonsymptome: + vorhanden; (+) atypisch/schwach; - fehlend



SG2a+b: St.Gallen Stuelegg (Höhe 2, Waldrand 2a, Hecke 2b)

Höhe: 920 m ü. M., Koordinaten: Waldrand 747'330 / 252'630, Hecke: 748'030 / 252'400, Exposition: S-SW, Nutzung: Waldrand neben Wiese

	Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
				2008	2009	2011
SG 2a: Stuelegg, Waldrand	Acer	pseudoplat.	Bergahorn	-	-	-
	Carpinus	betulus	Hagebuche	-	(+)	+
	Cornus	sanguinea	Hartriegel	(+)	-	-
	Corylus	avellana	Haselstrauch	(+)	-	-
	Crataegus	laevigata	Zweigriffl. Weissdorn	-	-	+
	Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn	(+)	-	+
	Fagus	sylvatica	Rotbuche	-	(+)	+
	Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	(+)	-
	Lonicera	nigra	Schw. Heckenkirsche	-	-	-
	Prunus	avium	Süsskirsche	-	-	+
	Quercus	robur	Stieleiche	-	-	-
	Salix	caprea	Sal-Weide	-	-	-
	Sambucus	nigra	Schwarzer Holunder			(+)
	Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	-	+
	Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	+	-	+
SG 2b: Stuelegg, Hecke	Acer	pseudoplat.	Bergahorn	-	-	-
	Carpinus	betulus	Hagebuche	+	-	+
	Cornus	sanguinea	Hartriegel	+	-	(+)
	Corylus	avellana	Haselstrauch	+	-	(+)
	Crataegus	monogyna	Eingriffl. Weissdorn			+
	Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen	+	-	(+)
	Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	-	(+)
	Ligustrum	vulgare	Liguster	-	-	-
	Rubus	idaeus	Himbeere			-
	Rosa	canina	Wilde Rose			+
	Salix	viminalis	Korb-Weide	+	+	+
	Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum			+
	Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	(+)	-	+
	Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	(+)	-	(+)

Die Hecke wurde 2009 auf den Stock gesetzt, der Unterwuchs am Waldrand teilweise zurück geschnitten, somit konnten sich an den kürzlich neu ausgetriebenen Blättern noch keine Ozonsymptome bilden.



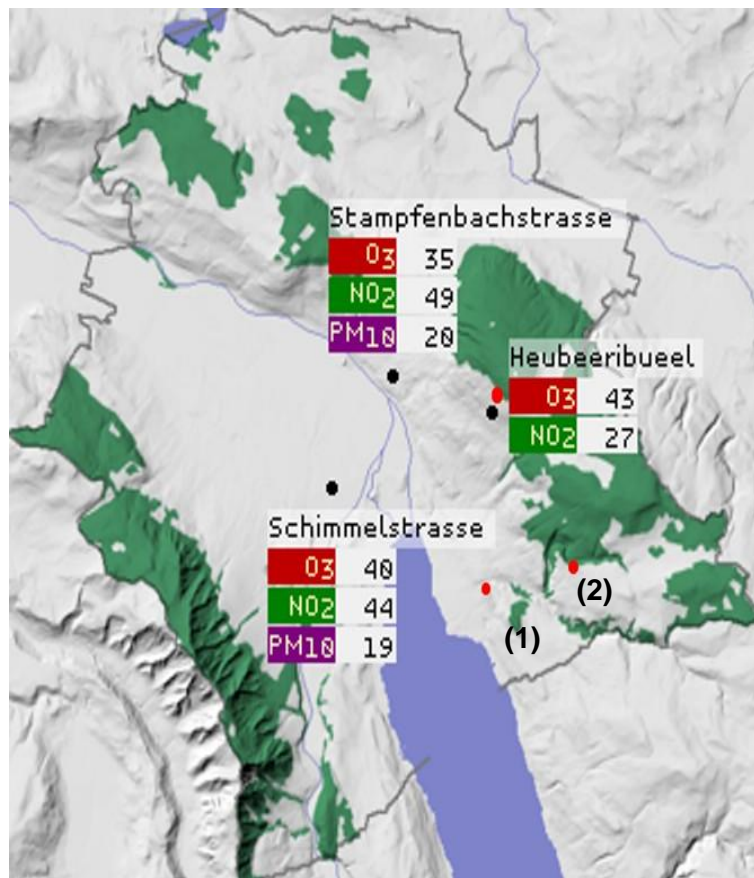
SG3: Teufen, Farnbüel (AR) (Höhe 3)

Höhe: 940 m ü. M., Koordinaten 748'200 / 251'350, Neigung: steil, Exposition: S-SW, Nutzung: Waldrand neben Wiese, Hecke als Windschutz

Lateinischer Pflanzename		Deutscher Pflanzename	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	campestre	Feldahorn			+
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	+	-	+
Crataegus	monogyna	Eingrifflicher Weissdorn	-	(+)	(+)
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen			+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	keine Blätter	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	+	+
Ligustrum	vulgare	Liguster	-	+	+
Lonicera	alpigena	Alpen-Heckenkirsche	-	+	+
Prunus	spinosa	Schwarzdorn	-		(+)
Quercus	robur	Stieleiche	+	keine Blätter	
Sorbus	aucuparia	Vogelbeerbaum	+	keine Blätter	-
Syringa	vulgaris	Flieder	+	-	-
Taxus	baccata	Eibe	-	-	-
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	-	+
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	+	+	+



Stadt Zürich: Standortübersicht



Halbstundenmittelwerte vom 12.09.2008 09:00

- Standorte Bioindikation OZON, Zürich
- Messstation UGZ (mg/m³)

Stadt Zürich: Beobachtung von Ozonsymptomen an Blättern von Bäumen und Sträuchern

An allen drei Zürcher Standorten wurden an vielen Arten Ozonsymptome beobachtet.

ZH1: Zürich Botanischer Garten (Höhe 1)

Höhe: 449 m. ü. M., Koordinaten 684'760 / 245'845, Neigung: 18%,
Exposition: SW, Bodentyp: kiesiges Lockergestein (Moräne)

Lateinischer Pflanzename		Deutscher Pflanzename	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	opalus	Schneeball- blättriger Ahorn	+	-	-
Cornus	mas	Kornelkirsche	-	+	+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	(+)	(+)
Fraxinus	excelsior	gewöhnliche Esche	+	+	-
Glycyrrhiza	glabra	Süssholz	-		-
Ligustrum	vulgare	Liguster	(+)	(+)	+
Lonicera	xylosteum	Rote Heckenkirsche			+
Malus	sylvestris	Holzapfel	-	(+)	+
Prunus	spinosa	Schwarzdorn	-	-	
Quercus	robur	Stieleiche	(+)	-	(+)
Rhamnus	cartharticus	Kreuzdorn	-	Baum †	
Sorbus	domestica	Speierling	+	-	+
Sorbus	torminalis	Elsbeere	+	(+)	+
Taxus	baccata	Eibe	-	(+) vj. Nd.	(+) vj. Nd.
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	+	+

Ozonsymptome: + vorhanden; (+) atypisch/schwach; - fehlend



 Probengebiet

ZH2: Zürich Stöckenhaldenweg (Höhe 2)

Höhe: 560 m. ü. M., Koordinaten 686'265 / 246'263, Neigung: 14%,
 Exposition: SSW, Bodentyp: kiesiges Lockergestein (Moräne), Nutzung:
 Wiesen

Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	Campestre	Feldahorn			+
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	-	-	-
Carpinus	betulus	Hagebuche	+	-	+
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	-	-
Cornus	seicea	Seidiger Hornstrauch			+
Corylus	avellana	Haselstrauch	-	-	-
Crataegus	monogyna	Eingrifflicher Weissdorn	+	-	-
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen	-	-	+
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	-	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	-	-
Juglans	regia	Walnussbaum	-	-	+
Ligustrum	vulgare	Liguster	(+)	(+)	
Lonicera	xylosteum	Rote Heckenkirsche			+
Prunus	spinosa	Schwarzdorn	-	-	(+)
Rubus	fruticosus	Brombeere			+
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	-	-
Ulmus	glabra	Bergulme			-

Der Unterwuchs am Waldrand wurde teilweise zurück geschnitten, somit konnten sich an den kürzlich neu ausgetriebenen Blättern 2009 noch keine Ozonsymptome bilden.



○ Probengebiet

ZH3: Zürich Orelli-Weg (Höhe 3)

Höhe: 636 m. ü. M., Koordinaten 684'903 / 248'832, Neigung: 12%,
 Exposition: SW, Bodentyp: kiesiges Lockergestein (Moräne), Nutzung:
 Familiengärten, Ackerbau, Wiesen

Lateinischer Pflanzenname		Deutscher Pflanzenname	Ozon-Symptome		
			2008	2009	2011
Acer	campestre	Feldahorn	+		+
Acer	pseudoplatanus	Bergahorn	-	-	+
Acer	platanooides	Spitzahorn	(+)	-	-
Carpinus	betulus	Hagebuche	+	-	+
Cornus	sanguinea	Hartriegel	-	-	+
Corylus	avellana	Haselstrauch	+		+
Crataegus	monogyna	Eingrifflicher Weissdorn	-	-	+
Euonymus	europaeus	Pfaffenhütchen			-
Fagus	sylvatica	Rotbuche	+	+	+
Fraxinus	excelsior	Gewöhnliche Esche	+	(+)	+
Ligustrum	vulgare	Liguster	(+)	-	+
Populus	tremula	Zitterpappel	-	-	-
Salix	capraea	Sal-Weide			+
Tilia	cordata	Winterlinde	+	-	+
Viburnum	lantana	Wolliger Schneeball	+	+	-
Viburnum	opulus	Gemeiner Schneeball	-	-	(+)

Der Unterwuchs am Waldrand wurde auf den Stock gesetzt, somit konnten sich an den kürzlich neu ausgetriebenen Blättern 2009 noch keine Ozonsymptome bilden.



- Probengebiet
- Ozon-Messstation Zürich Heubeeribüel